**جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دهم،تابستان۱۳۹۳**

صص ۹۰-۷۳

# پهنه‌بندی مخاطره آتش‌سوزی پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

**حسن فرامرزی- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.**

**سید محسن حسینی[۱] - استاد جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.**

**مهدی غلامعلی فرد- استادیار محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، ایران.**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۵     تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۲۷

## چکیده

در پی تغییر اقلیم و گرم شدن زمین، میزان آتش‌سوزی در سطح جنگل‌ها و مراتع در حال افزایش است؛ بنابراین شناسایی مناطق در معرض خطر جهت پیشگیری و اتخاذ تدابیر لازم، امری ضروری است. این مطالعه با هدف شناسایی نقاط بحرانی و حساس به حریق در پارک ملی گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر روی آتش‌سوزی شامل شیب، جهت، ارتفاع، کاربری، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، فاصله از جاده و روستا، حضور گردشگر، شکارچی و دامدار، دما و رطوبت انجام شد. نقشه واقعیت آتش نیز از آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در ۳۰ سال اخیر تهیه گردید. برای بررسی صحت مدل‌سازی، ارزیابی و حساسیت‌سنجی متغیرها از روش ROC و Pseudo-$R^2$ استفاده شد و میزان آن‌ها برای داده‌ها با سری کامل به ترتیب برابر ۰/۹۲٦۷ و ۰/۳۱۳۳ برآورد گردید. بر اساس حساسیت‌سنجی مدل به حذف متغیرهای مستقل، تنها پارامتر کاربری به‌عنوان متغیر بی‌معنا مشخص گردید و متغیرهای حضور دامدار، دما و رطوبت دارای اهمیت بیشتری بودند. نقشه خطر به‌دست‌آمده با آتش‌سوزی ۳۰۰۰ هکتاری منطقه شارلق در شهریور ماه سال ۱۳۹۲ انطباق داشت. باوجود صحت بالای نقشه مخاطره آتش به‌دست‌آمده، می‌تواند برای پیشگیری آتش قبل از وقوع و مدیریت این بحران مورداستفاده قرارگیرد.

**کلیدواژه‌ها**: خطر آتش‌سوزی، رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی، مدیریت بحران، پارک ملی گلستان.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۲۱۳۸۹۸     Email: hosseini@modares.ac.ir

**۱. مقدمه**

آتش‌سوزی گسترده در جنگل از مصادیق بحران‌های طبیعی بوده (حسینعلی، ۱۳۸٤) و در پی تغییر اقلیم و گرم شدن زمین، میزان آتش‌سوزی در سطح جنگل‌ها در حال افزایش است (عزیزی و یوسفی، ۱۳۸٤). لذا این پدیده یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب شده و خسارات جبران‌ناپذیری به بار می‌آورد (مارزاس[1] و همکاران، ۲۰۰۷: ٤۷). برخی از این خسارات شامل تغییر کاربری اراضی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برهم زدن ساختار جنگل و اتلاف مواد غذایی موجود در بخش‌های اکوسیستم ناشی از سوختن لایه گیاهی و لاشبرگ است (واکالیس[2] و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۸۹؛ الکساندریدس[3] و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۱؛ بخشنده سواد رودباری و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس گزارش فائو[4] (۱۹۹۵) میانگین سالیانه آتش‌سوزی در جنگل‌های جهان دو میلیون هکتار برآورد شده است. آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه‌تنها از دیدگاه زیست‌محیطی، بلکه از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و امنیتی نیز یکی از اصیل‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (سیلوامرینو و گنزال[5]، ۲۰۱۰: ٦۷). یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های جنگل، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط باعث وقوع و گسترش آتش در جنگل، تأخیر در مهار آن و وارد آمدن صدمه به حیات جانوران و گیاهان جنگل خواهد شد (جیسوال[6] و همکاران، ۲۰۰۲: ۱). لذا تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی (مناطق بحرانی آتش‌سوزی) اهمیت بسزایی در کاهش تعداد دفعات آتش‌سوزی و جلوگیری از تخریب جنگل‌های منطقه داشته (دانگ[7] و همکاران، ۲۰۰۵: ۱٦۹) و به مدیران جنگل برای پیشگیری آتش قبل از وقوع آن کمک می‌کند تا با انجام مراقبت‌های ویژه در مناطق بحرانی، از وقوع آتش‌سوزی‌های احتمالی جلوگیری کنند. بر اساس مطالعه اترک‌چالی (۱۳۷۹) میانگین آتش‌سوزی جنگل در کشور ۷۰۰۰ هکتار است و دوره بازگشت آتش در جنگل‌های گلستان ۵ تا ۷ سال است؛ بنابراین تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی با دقت بالا و برنامه‌ریزی جهت پیشگیری و مدیریت بحران لازم است. در تهیه نقشه‌های مخاطره آتش سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار پایه‌ای برای مدیریت فضایی داده‌ها به کار گرفته می‌شود. در بسیاری از مطالعات به استفاده از GIS برای مشخص کردن نقاط حساس و بحرانی پرداخته‌اند و تکنیک‌های احتمالی را به‌کاربرده‌اند. اکبری و همکاران (۱۳۸٦: ۱۱٥۱) با استفاده از ۳ عامل شیب، جهت و شاخص متفاوت پوشش گیاهی

1 Marozas
2 Vakalis
3 Alexandridis
4 Food and Agriculture Organiztion (FAO)
5 Silvia Merino & Gonzale
6 Jaiswal
7 Dong

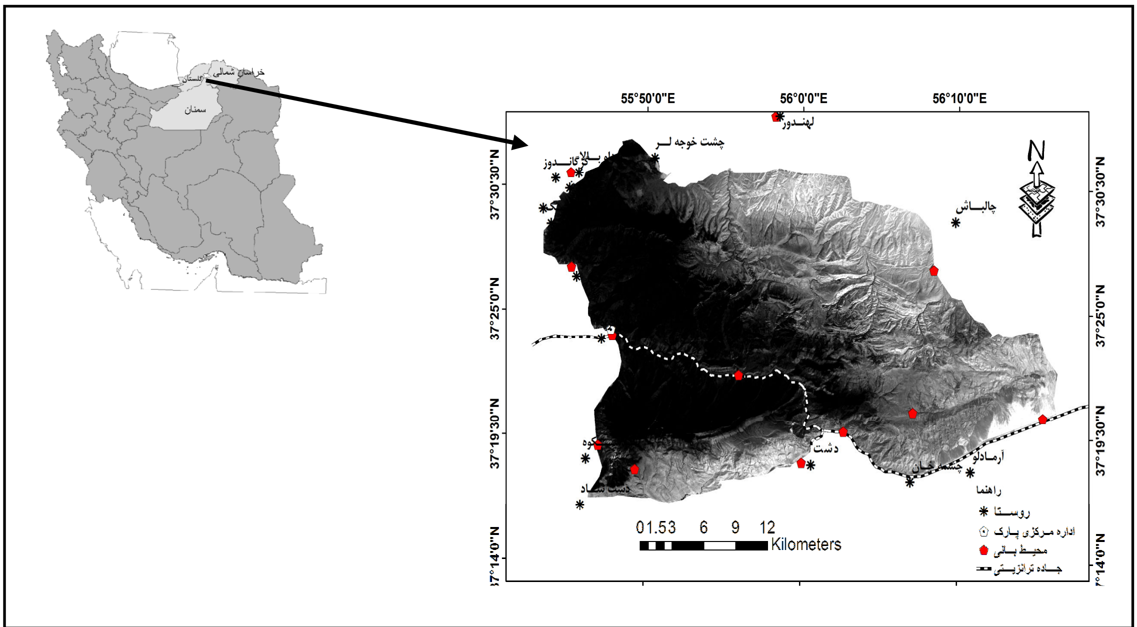
(NDVI)[1] به ارائه مدلی ساده و سریع با کمک روش فازی به‌منظور تهیه نقشه آتش‌سوزی در نواحی جنگلی پرداختند. بدین منظور با فرموله کردن عوامل فوق و اعمال آن بر روی تصویر، مناطق با خطر آتش‌سوزی مشخص شد و نقشه به‌دست‌آمده از خطر آتش‌سوزی را با استفاده از داده‌های لندست مورد آزمون قراردادند. محمدی و همکاران (۱۳۸۸: ٥٦٩) با انجام عملیات میدانی و با در نظر گرفتن معیارهای پوشش گیاهی، فیزیوگرافی، اقلیمی، انسانی و فاصله از جاده‌ها و رودخانه‌ها و استفاده از تحلیل سلسله مراتبی اقدام به تهیه نقشه مناطق حساس به آتش‌سوزی در جنگل‌های پاوه نمودند و نشان دادند که نقشه به‌دست‌آمده تطابق زیادی با مکان‌های واقعی آتش گرفته داشته است. در مطالعه‌ای که توسط ژانگ[2] و همکاران (۲۰۱۰: ۳۸٦) در مراتع مغولستان و چین انجام شد، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و با در نظر گرفتن پارامترهایی ازجمله توپوگرافی، فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی، بارش و دما به تهیه مدل پیش‌بینی احتمال احتراق و بررسی همبستگی آن با این پارامترها پرداختند. در انتها نقشه خطر حریق با ۵ طبقه ‎<۰/۲‎، ۰/۲۰–۰/٤، ۰/٦–۰/٤، ۰/۸–۰/٦ و ‎> ۰/۸‎ به دست آمد و مشخص گردید که مدل با دما و ارتفاع همبستگی مثبت و با فاصله از جاده‌ها، راه‌آهن و روستاها، رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی دارد. در تحقیقی در اسپانیا نیتو[3] و همکاران (۲۰۱۲: ۳۵) به بررسی وقوع آتش‌سوزی ناشی از رعد و برق طی یک دوره ۳ ساله از سال‌های ۲۰۰٤–۲۰۰۲ با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداختند. در این مطالعه پارامترهایی ازجمله صاعقه، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که صاعقه مهم‌ترین عامل آتش‌سوزی در این منطقه در این دوره بوده است و مدل خطر با مقدار ROC، ۰/۷ در این مدل به دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد خوب این مدل بود.

پارک ملی گلستان نخستین پارکی است که در ایران عنوان پارک ملی را به خود اختصاص داده است و یک هشتم گونه‌های گیاهی، یک سوم گونه‌های پرندگان و بیش از ۵۰ درصد از گونه‌های پستانداران کشور در این پارک زندگی می‌کنند (حسن‌زاده کیابی و همکاران، ۱۳۷۲). این پارک به دلیل دارا بودن ویژگی خاص پوشش گیاهی و قرار گرفتن بخش عمده آن در مسیر بادهای ناشی از برخورد دو جبهه هوای مرطوب و خشک (شکری و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۷۳) مستعد آتش‌سوزی است و تنها در سال شهریور ۱۳۹۲، ۳۰۰۰ هکتار از این پارک بر اثر آتش‌سوزی آسیب دید. این مطالعه به مدل‌سازی و شناسایی مناطق حساس به آتش‌سوزی با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار بر روی آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداخته است.

1 Normalizd Difference Vegetation Index
2 Zhang
3 Neito

## ۲. منطقه مورد مطالعه

پارک ملی گلستان در شمال‌شرقی ایران و شرق گلستان، شمال‌غربی استان خراسان و شمال استان سمنان در حد فاصل ״۴۳ ׳۱۷ °۳۷ تا ״۳۵ ׳۳۱ °۳۷ عرض شمالی و ״۲۵ ׳۴۳ °۵۵ تا ״۴۸ ׳۱۷ °۵۶ طول شرقی قرار گرفته است. مساحت پارک ۹۱۸۹۵ هکتار و محیط آن ۱۹۸ کیلومتر است. جاده ترانزیتی، معروف به جاده آسیایی که شمال و مرکز ایران را به شمال‌شرقی ایران وصل می‌کند، به طول ۳۵ کیلومتر از تنگه راه تا سه راهی دشت از درون پارک و از آنجا به بعد تا میرزابایلو در حد جنوبی پارک می‌گذرد (مجنونیان و همکاران، ۱۳۷۸). روستاهای متعددی شامل تنگه راه، ترجنلی، قوچ چشمه، زاو، تمک، کندسکو و دشت‌شاد در غرب پارک، دشت، چشمه خان و آرمادلو در جنوب و رباط‌قره‌بیل در شرق و لهندور، یل چشمه و بهکده در شمال پارک دیده می‌شود (شکل ۱).




**شکل ۱** موقعیت پارک ملی گلستان

## ۳. مواد و روش‌ها

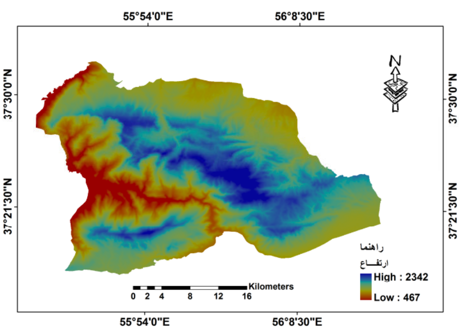
در این پژوهش ابتدا پارامترها و نحوه تأثیرگذار آن‌ها بر روی آتش‌سوزی مشخص شد و اطلاعات مربوط به آن‌ها از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه و آماربرداری در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید (جدول ۱).

**جدول ۱** پارمترها و نحوی تأثیرگذاری و دستیابی به آن‌ها

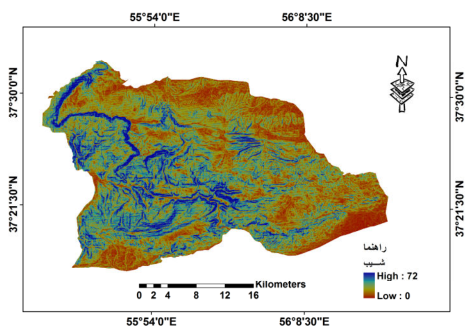
| ردیف | پارامتر | چگونگی تأثیر بر روی آتش‌سوزی | منبع تهیه |
|---|---|---|---|
| ۱ | ارتفاع | با افزایش ارتفاع خطر آتش‌سوزی کم می‌شود (ویلان[1]، ۱۹۹۵). | سازمان محیط زیست |
| ۲ | شیب | با افزایش شیب خطر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (ویلان، ۱۹۹۵). | |
| ۳ | جهت | جهت‌های که نور خورشید بیشتری دریافت می‌کنند شدت آتش‌سوزی بیشتر خواهد بود (فرانکلین[2] و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۳۱). | |
| ٤ | دما | افزایش دما باعث افزایش خطر آتش‌سوزی می‌شود (بالزتر[3] و همکاران، ۲۰۰۵). | سازمان هواشناسی کشور |
| ۵ | رطوبت | رطوبت بر روی سرعت، جرقه و شروع آتش‌سوزی تأثیرگذار است (تانسکانن[4] و همکاران، ۲۰۰۵: ٤۱۰). | |
| ٦ | NDVI | در مناطقی که شاخص خشک آن بیشتر است یا به عبارتی رطوبت سوخت کمتر باشد خطر آتش‌سوزی بالاتر می‌رود (چویکو[5] و همکاران، ۲۰۰٤: ۳۲۲). | ماهواره MODIS (۲۰۱۱) |
| ۷ | جاده ترانزیتی | انسان‌ها باعث افزایش فراوانی و پراکنش آتش‌سوزی در طول حمل و نقل خود می‌شود (کیلی و فودرنینگام[6]، ۲۰۰۳: ۲۱۸؛ استفنسا[7]، ۲۰۰۵: ۲۱۳) و راه‌ها باعث دسترسی به مناطق می‌شود و خطر آتش‌سوزی را بالا می‌برد (سیفارد[8] و همکاران، ۲۰۰۸: ٦۰۲). | سازمان محیط زیست |
| ۸ | حضور شکارچی و دامدار | شکارچی و دامدار می‌تواند به صورت عمدی و غیر عمدی باعث آتش‌سوزی در مناطق جنگلی شود (باکیریکی[9]، ۲۰۱۰: ۱۵). | سازمان محیط زیست |
| ۹ | روستاها | گسترش مناطق مسکونی باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود (روندل و کینگ[10]، ۲۰۰۱: ۲۰۹؛ یواس‌دی‌ای و یواس‌دی‌آی[11]، ۲۰۰۱: ۷۵۱). | سازمان محیط زیست |
| ۱۰ | حضور گردشگر | گردشگرها باعث افزایش آتش‌سوزی می‌شود (رهبر، ۱۳۷۹). | سازمان محیط زیست |
| ۱۱ | کاربری‌ها | نقشه‌ی کاربری بر اساس نوع پوشش یا کاربری تأثیرگذار است (کانتاریلو[12] و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۱۱۲). | سازمان نقشه‌برداری کشور |

1 Whelan
2 Franklin
3 Balzter
4 Tanskanen
5 Chuvieco
6 keeley & Fotheringham
7 Stephensa
8 Syphard
9 Bakirci
10 Rundel & King
11 USDI & USDA
12 Cantarello

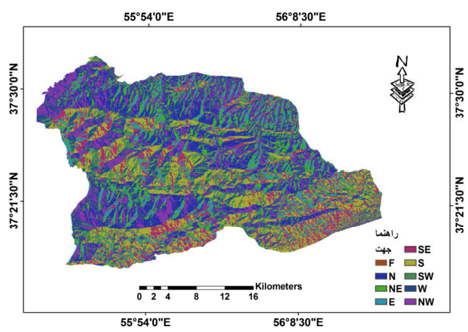
سپس پارامترهای تأثیرگذار در نرم‌افزار Arc GIS و IDRISI آماده‌سازی شدند. نقشه‌های طبقـات ارتفـاع با مقدار ٤٦٧ تا ٢٣٤٢ متر از سطح دریا، شیب با مقدار صفر تا ۷۲ درجه و جهـت بـا ۹ طبقـه از نقـشه مـدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه آماده شدند (شکل۲، ۳، ٤). نقـشه‌ی شـاخص پوشـش گیـاهی نرمـال شـده از ماهواره MODIS در سال ۲۰۱۱ تهیه گردید (دنکابایل[1] و همکاران، ۲۰۰٤)(شکل ۵).



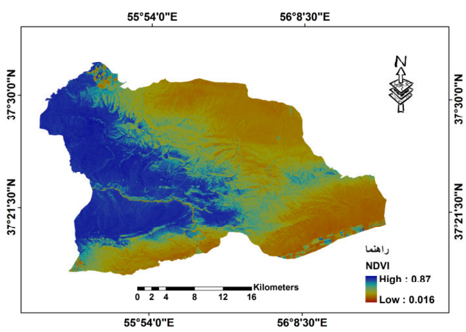

**شکل ۲** نقشه ارتفاع از سطح دریا




**شکل ۳** نقشه شیب



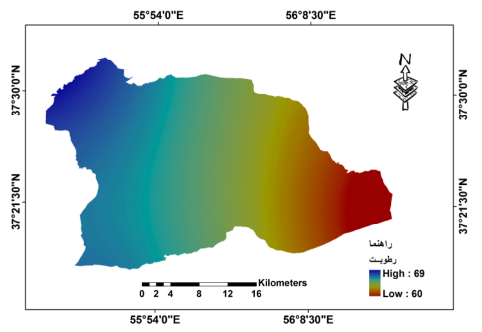

**شکل ٤** نقشه جهت



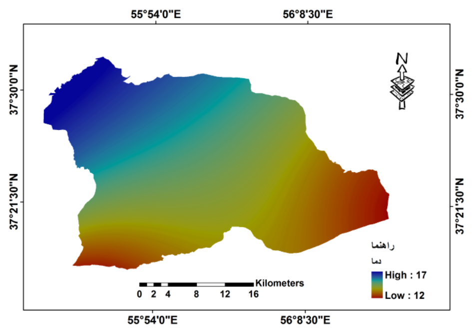

**شکل ۵** نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده

نقشه‌های هم‌رطوبت و هم‌دما نیز از درون‌یابی داده‌های هواشناسی سـال‌هـای ۱۳۸۰-۱۳۹۰ ایـستگاه‌هـای هواشناسی سینوپتیک و اقلیم‌شناسی اطراف پارک بر اساس وزندهی بر مبنای عکس فاصلـه (IDW)[2] بدسـت آمدند (شکل ٦، ۷). با توجه با تأثیر حضور شکارچی و دامدار برروی آتش‌سوزی‌های پارک فاصله مستقیم از محل دستگیری شکارچیان و دامداران متخلف پارک در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸٦ به عنوان احتمال حضور بیشتر در این مناطق تهیه گردید (شکل ۸، ۹).

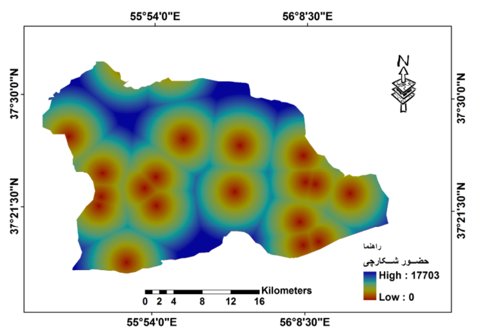
1 Thenkabail
2 Inverse Distance Weighted



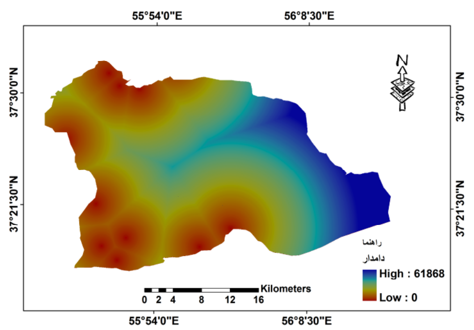

**شکل ٦** نقشه هم‌رطوبت




**شکل ۷** نقشه هم‌دما

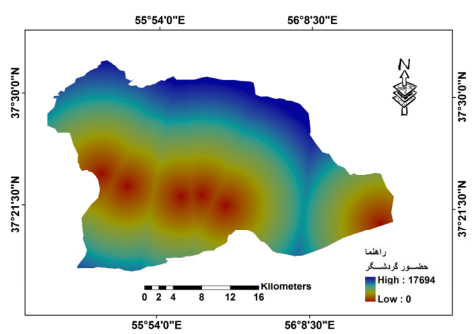


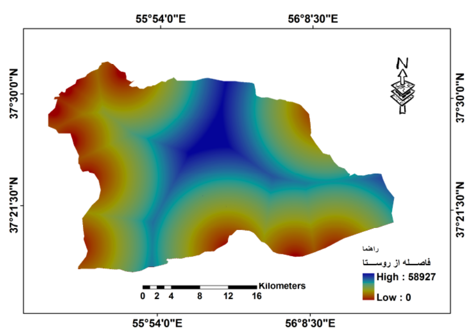

**شکل ۸** نقشه حضور شکارچی

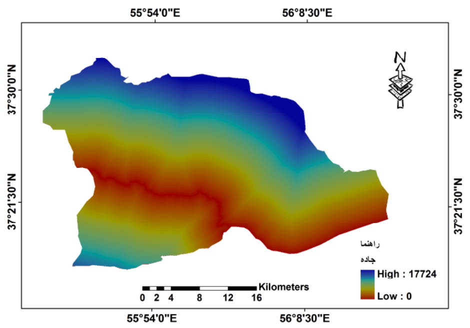



**شکل ۹** نقشه حضور دامدار

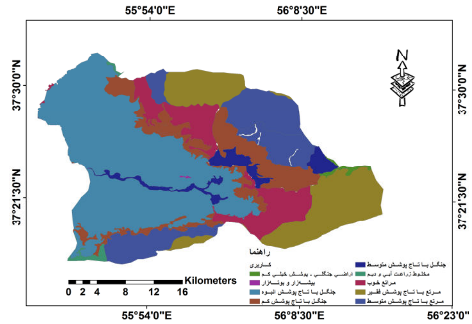
همچنین از محل کمپینگ‌های پارک به عنوان مکان‌های حضور گردشگر، روستاهای اطراف پارک و جاده ترانزیتی عبوری از داخل پارک فاصله مستقیم بدست آمد (شکل ۱۰، ۱۱، ۱۲). در منطقه مورد مطالعه کاربری‌های مختلف شامل جنگل با تاج پوشش انبوه، جنگل با تاج پوشش کم، جنگل با تاج پوشش متوسط، اراضی جنگلی با پوشش خیلی کم، مرتع خوب، مرتع با تاج پوشش متوسط، بیشه‌زار و بوته‌زار و اراضی کشاورزی وجود دارد (شکل ۱۳).



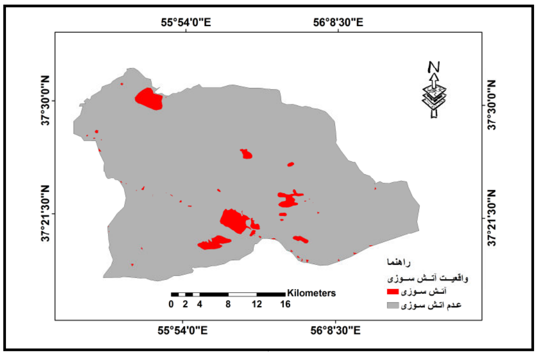



شکل ۱۲ **نقشه فاصله از جاده**




شکل ۱۳ **نقشه کاربری**

محدوده‌ی آتش‌سوزی‌های اتفاق افتاده در طول ۳۰ سال اخیر نیز با توجه به تاریخچه‌ی ثبت شده توسط اداره مرکزی پارک، اطلاعات محیط‌بانان و آثار به جای مانده از آتش‌سوزی‌ها با استفاده از GPS مشخص گردید و نقشه‌ی بولین آتش در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد (شکل ١٤).




شکل ١٤ **نقشه واقعیت آتش‌سوزی**

پس از آماده‌سازی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار IDRISI و روش رگرسیون لجستیک برای تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی اقدام گردید. رگرسیون لجستیک به صورت رگرسیون دوجمله‌ای محاسبه‌ای اجرا می‌شود که در آن متغیرهای وابسته موجود در طبیعت به صورت دودوئی، وارد می‌شوند (الدریچ و فورست[1]، ١٩٨٤) و از رابطه‌ی ١ بدست می‌آید.

رابطه ١:

$$p\left(y=1|X\right)=\frac{\exp(\sum BX)}{1+\exp(\sum BX)}$$

که در آن P احتمال ١ بودن متغیر وابسته، X متغیرهای مستقل و B مقدار ثابت برآوردی می‌باشد. مزایای استفاده از مدل رگرسیون لجستیک علاوه بر مدل‌سازی مشاهده‌ها، امکان پیش‌بینی احتمال تعلق هر فرد به هر یک از سطوح متغیر وابسته و امکان محاسبه‌ی مستقیم نسبت شانس

1 Aldrich & Forrest

متغیرها با استفاده از ضرایب مدل است (جوبسون[1]، ۱۹۹۲) و همچنین نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چندمتغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی، متغیر وابسته می‌تواند تنها دو متغیر داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است (لی و دای[2]، ۲۰۰۶: ٦٦١). مدل بدست آمده با استفاده از درصدی از نقاط برگرفته‌شده از نقشه‌ی آتش‌سوزی‌های رخ داده در طبیعت به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا طبقه‌بندی شده به صورت ارائه آمارهای مشخصه عامل نسبی ROC و مشخصه نسبی اجرایی $Pseudo\text{-}R^2$ ارزیابی می‌شود (کلارک و هوسکینگ[3]، ۱۹۸٦). آماره ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل‌سازی موقعیت وقوع از یک کلاس به وسیله‌ی مقایسه کردن با یک تصویر مناسب و عکس‌های بولین که نشان می‌دهد کجاها دقیقاً اتفاق افتاده است، انجام می‌گیرد و درست نمایی آن را در کلاس مشخص می‌کند (روسیتر و لوزا[4]، ۲۰۱۰). این آماره به شکل نموداری که در آن نسبت پیکسل‌های که توسط مدل به درستی تغییر پیش‌بینی شده‌اند (True Positive) در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که به نادرست تغییر پیش‌بینی شده‌اند (False Positive)، ترسیم می‌گردد (گیل‌پونتیوس و اسچیندر[5]، ۲۰۰۱: ۲۳۹).

مشخصه نسبی اجرایی $Pseudo\text{-}R^2$ بر مبنای قاعده نسبت احتمال، در آزمون نیکویی برازش رگرسیون لجستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف $R^2$ در رگرسیون معمولی، $Pseudo\text{-}R^2$ بیانگر نسبت واریانس تبیین شده توسط مدل نیست بلکه این شاخص میزان وابستگی میان داده‌های تجربی و خروجی مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد. از این رو مقدار آن خیلی پایین‌تر از $R^2$ است. $Pseudo\text{-}R^2$ برابر یک بیانگر برازش کامل و برابر صفر به معنای عدم وجود رابطه معنادار بین متغیرهای مستقل و وابسته است (کلارک و هوسکینگ، ۱۹۸٦). در نهایت حساسیت‌سنجی متغیرها با حذف آن‌ها با استفاده از ROC و $Pseudo\text{-}R^2$ مورد بررسی قرار گرفت.

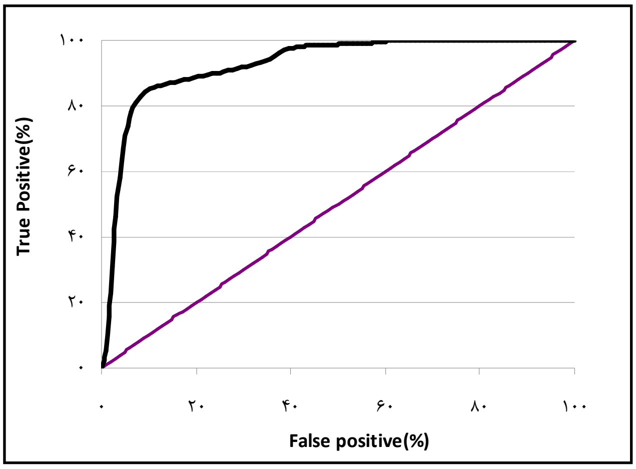
## ٤. بحث و نتایج

معادله رگرسیونی حاصل از این مدل به صورت زیر بدست آمد:

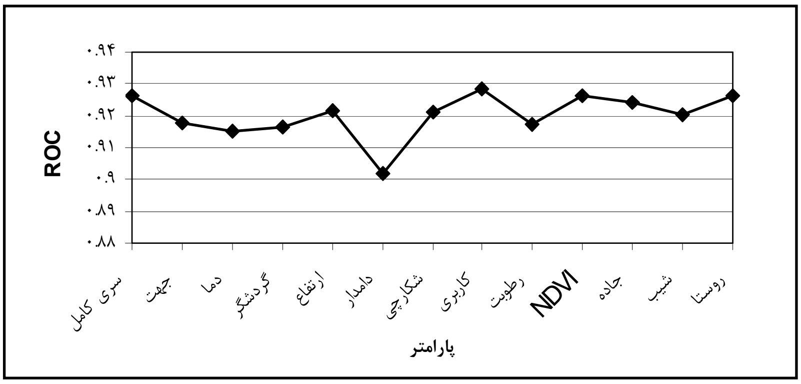
$$Logit\ (fire) = 38.792 + 0.05475*Aspect + 0.79038*Tem - 0.000666*Camping + 0.0014*Elevation - 0.00037*Shepherds + 0.00036*Hunter + 0.0081*Landuse - 0.7874*Moisture + 0.0011*NDVI + 0.0004*Road - 0.051747*Slope - 0.00006*Village$$

1 Jobson
2 Lee & Dai
3 Clark & Hosking
4 Rossiter & Loza
5 Gilpontius & Schneider

که در آن جهت =Aspect، میانگین دما =Tem، حضورگردشگر =Camping، ارتفاع =Elevation، حضوردامدار=Shepherds ، حضورشکارچی =Hunter، کاربری=Land use، رطوبت =Moisture، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی =NDVI، فاصله ازجاده‌اصلی =Road، شیب =Slope، روستاها =Villages می‌باشد. در این در مدل پارامترهای جهت، ارتفاع، میانگین دما، فاصله از جاده، حضور شکارچی، کاربری و NDVI همبستگی مثبت و شیب، حضور گردشگر، حضور دامدار، رطوبت و فاصله از روستاها همبستگی منفی با خطر آتش‌سوزی دارند و همچنین تأثیر پارامترها از بیش‌ترین به کمترین تأثیر به ترتیب اولویت شامل پارامترهای دما، رطوبت، جهت، شیب، کاربری، ارتفاع NDVI، حضور گردشگر، فاصله از جاده، حضور شکارچی، حضوردامدار و فاصله از روستاها می‌باشد. مقدار ROC، $Pseudo\text{-}R^2$ و ChiSquare در این مدل به ترتیب برابر ۰/۹۲٦۷، ۰/۳۱۳۳ و ۱۰۲۲۲۷/۳ بدست آمد و منحنی ROC به صورت شکل ۱۵ تهیه گردید. حساسیت‌سنجی متغیرها با استفاده از هر دو عامل به صورت یکسان تنها پارامتر کاربری منطقه را به عنوان پارامتر بی‌معنا معرفی کردند به طوری که نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی مدل با استفاده از ROC حساسیت مدل‌ها را به ترتیب اولویت زیاد به کم شامل پارامترهای حضور دامدار، میانگین دما، حضور شکارچی، رطوبت، شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از روستا، حضور گردشگر، NDVI، جهت و کاربری نشان داد و در حساسیت‌سنجی مدل با استفاده از $Pseudo\text{-}R^2$ به ترتیب اولویت از زیاد به کم شامل پارامترهای حضور دامدار، میانگین دما، رطوبت، حضور شکارچی، گردشگر، جهت، شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از روستا، NDVI و کاربری بدست آمد (شکل ١٦ و ١٧).




**شکل ۱۵ منحنی ROC**

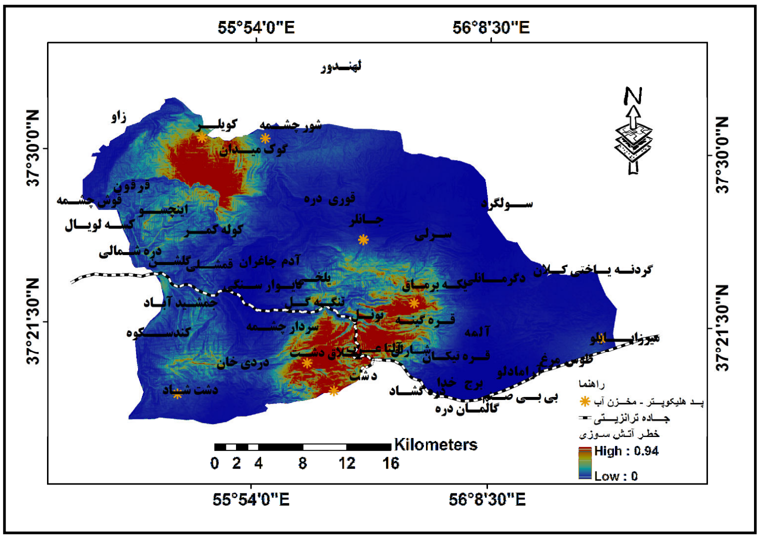



**شکل۱۶** نمودارحساسیت‌سنجی با حذف متغیر مستقل با استفاده از ROC




**شکل ۱۷** نمودارحساسیت‌سنجی با حذف متغیر با استفاده از $Pseudo - R^2$

نقشه خطر آتش‌سوزی نیز با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تهیه شد و این نقشه به همراه جاده ترانزیتی و مکان‌های مخازن آب و پدهای هلیکوپتر موجود در پارک ارائه گردید (شکل ۱۸).




**شکل۱۸** نقشه خطر آتش‌سوزی در پارک ملی گلستان با استفاده از رگرسیون لجستیک

نتایج حاصل از این مطالعه هم در رابطه به‌دست‌آمده و هم نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی متغیرها (شکل ١٦ و ١٧) نقش متغیرهای دما و رطوبت را در شکل‌گیری آتش‌سوزی در منطقه مؤثر معرفی می‌کند که نتایج مطالعات محمدی و همکاران (١٣٨٦: ٥٦٩) و ارتن و همکاران (٢٠٠٤: ١٢) نیز بر تأثیر این دو پارامتر تأکید کرده است. حساسیت‌سنجی متغیرها همچنین نقش پارامترهای حضور دامدار و شکارچی از عوامل انسانی بالا نشان می‌دهد. در پژوهش‌های مشابه به نقش مهم این عوامل در شکل‌گیری آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع بیان‌شده است (جایسوال و همکاران، ٢٠٠٢: ١؛ دانگ و همکاران، ٢٠٠٥: ١٦٩). ازآنجاکه مقدار آماره ROC زیر ٠/٧ نشان‌دهنده دقت کم، ٠/٩–٠/٧ نشان‌دهنده کاربردی بودن و مقدار بیش از ٠/٩ نشان‌دهنده دقت بالای مدل است (سویتس[1]، ١٩٨٨: ١٢٨٥) و همچنین مقدار $Pesudo\text{-}R^2$ بزرگ‌تر از ٠/٢ را می‌توان نشانگر یک برازش نسبتاً خوب دانست (کلارک و هوسکینگ، ١٩٨٦)؛ بنابراین در تحقیق حاضر مقدار آماره ROC با مقدار ٠/٩٢٦٤ و $Pesudo\text{-}R^2$ با مقدار ٠/٣١٣٣ نشان‌دهنده دقت بالا و برازش مناسب مدل خطر آتش‌سوزی به‌دست‌آمده است که منحنی ROC به‌دست‌آمده نیز گویای این مطلب است که این قسمت نیز با نتایج مطالعات فینی و استپفنس[2] (٢٠٠٢: ٢٦١) و نیتو و همکاران (٢٠١٢: ٣٥) مشابه است؛ بنابراین می‌توان روش رگرسیون لجستیک را به‌عنوان یک روش مناسب برای طبقه‌بندی خطر آتش‌سوزی معرفی نمود که با نتایج بررسی‌های ژانگ و همکاران (٢٠١٠: ٣٨٦) و لوزانو[3] و همکاران (٢٠٠٧: ٥٣٣) مطابقت دارد؛ بنابراین این مدل می‌تواند در طراحی مدیریت آتش مفید واقع شود و مناطقی که خطر آتش‌سوزی در این مناطق بالاست اقدامات پیشگیرانه صورت گیرد (اماتولی[4] و همکاران، ٢٠٠٧: ٣٢١؛ پوب و لارسن[5]، ٢٠٠١: ١). همچنین فهم رفتار آتش‌سوزی جنگل و فاکتورهایی که بوجود آورنده محیط مستعد آتش‌سوزی و متأثر بر رفتار آتش‌سوزی هستند، برای مدیریت آتش‌سوزی در جنگل از اهمیت بالای برخوردار است (ارتن و همکاران، ٢٠٠٤: ١٢) که می‌توان از زوایای مختلف جهت مدیریت مناسب‌تر مورد ارزیابی قرار داد. همان‌طور که شکل ١٨ نشان می‌دهد خطر احتمال خطر آتش‌سوزی در مناطق دو راهی دشت، یکه‌برماق، ییلاق دشت، بلای تونل، تنگه گل، چشمه سردار، دره زغالی، شارلق، یلخی، جانلر و کویلر تا اینچسو بالاست و خوشبختانه پدهای هلیکوپتر و مخازن آب طراحی شده در پارک در نزدیکی این مناطق است اما بااین‌وجود در مناطق آلتاعرب، بالای تونل و تنگه گل تا یلخی که نقشه خطر به‌دست‌آمده خطر آتش‌سوزی را در این مناطق بالا نشان می‌دهد، به دلیل شیب بالا و عدم دسترسی مناسب به این مناطق

1 Swets
1 Finney & Stephens
2 Lozano
3 Amatulli
4 Pewb & Larsen

طراحی مخازن آب می‌تواند تا حدودی به هنگام آتش‌سوزی به اطفای هر چه زودتر حریق کمک کند. همچنین باوجود نقش مسافرین و گردشگران عبوری از جاده در شکل‌گیری آتش‌سوزی‌ها در اطراف جاده که باعث انتقال آن با توجه به شرایط مساعد محیطی برای آتش می‌شود، ایجاد آتش برها و آتش بندها و همچنین نصب تابلوهای خطر آتش‌سوزی در کنار این جاده می‌تواند تا حدود زیادی توسعه آتش‌سوزی را در این مناطق کاهش دهد. باوجود نقش دامداران و شکارچیان در آتش‌سوزی‌ها منطقه مورد مطالعه نیز می‌توان با تبدیل دامداری‌های سنتی به مکانیزه و نیمه مکانیزه با دادن تسهیلات بانکی به دامداران و برخورد جدی دستگاه قضائی و افزایش جرائم برای افراد متخلف، نقش آن‌ها را در آتش‌سوزی منطقه کاهش داد به‌طوری‌که مطالعات فو[1] و همکاران (۲۰۰۱: ۲۰۲) و بروک و ماتچیت[2] (۲۰۰۶: ۱٤۸) نیز نشان داد که اجرای هر چه بهتر قانون باعث پیشگیری آتش‌سوزی می‌شود همچنین ازآنجاکه بیشتر آتش‌سوزی‌های مناطق جنگلی عمدتاً در اثر بی‌توجهی افراد و اشخاص ناآگاه صورت می‌پذیرد (جزیره‌ای، ۱۳۹۰) برپایی کلاس‌های آموزشی و توجیهی برای افراد تأثیرگذار بر روی پارک لازم و ضروری است.

## ۵. نتیجه‌گیری

پارک ملی گلستان یکی از بی‌نظیرترین و مهم‌ترین پارک‌های ملی ایران محسوب می‌شود که هرساله آتش‌سوزی‌های وسیعی این پارک را تهدید می‌کند. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با توجه به موقعیت منطقه، دمای بالا و رطوبت کم شرایط مناسبی را برای آتش‌سوزی فراهم می‌کند و باوجود تردد بالای مسافرین، گردشگران، دامداران و شکارچیان غیرمجاز در این پارک خطر آتش‌سوزی در این پارک بالاست. با توجه به صحت بالای مدل به‌دست‌آمده حاصل از روش رگرسیون لجستیک در این مطالعه با ارزیابی‌های صورت گرفته، می‌توان گفت این روش، روش مناسبی برای ارزیابی و مدل‌سازی خطر آتش‌سوزی است و مدل به‌دست‌آمده می‌تواند در جهت اقدامات پیشگیرانه مورداستفاده قرار گیرد. همچنین با مشخص شدن میزان نقش پارامترهای مؤثرتر در این مطالعه می‌توان برای مدیریت مناسب‌تر این بحران برنامه‌ریزی نمود. به‌طور خلاصه به مواردی جهت کاهش خطر آتش‌سوزی در پارک اشاره می‌شود:

- ایجاد مخازن آب در مناطقی که احتمال خطر آتش‌سوزی بالاست که می‌توان به مواردی همچون مناطق آلتا عرب، یلخی، بالای تونل، دردی خان و اینچسو اشاره نمود.
- طراحی جاده و مشخص نمودن نزدیک‌ترین مسیرهای مالرو برای دستیابی به مناطقی که خطر آتش‌سوزی بالاست.

1 Fu
2 Brooks & Matchett

- تبدیل دامداری سنتی به مکانیزه و نیمه مکانیزه در روستاهای اطراف پارک ملی گلستان.
- نصب تابلوهای هشدار خطر آتش در مسیرهای حضور مسافران و گردشگران و مناطقی که خطر آتش‌سوزی بالاست.
- طراحی آتش‌بر و آتش‌بند در مناطق حساس به خطر با توجه به نوع خطر آتش‌سوزی.
- برقراری کلاس‌های آموزشی و توجیهی برای روستاهای اطراف پارک.
- افزایش جرائم مربوط به متخلفان پارک و برخورد هرچه قوی‌تر با آن‌ها.

## کتابنامه


اترک‌چالی، عبدالناصر. ۱۳۷۹. بررسی اثرات آتش‌سوزی بر روی تغییرات پوشش گیاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، ۸۵ ص.

اکبری، داوود.، امینی، جلال.، سعادت سرشت، محمد.، ۱۳۸٦. ارائه‌ی مدلی ساده و سریع برای تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک آتش‌سوزی در نواحی جنگلی، مجموعه‌ی مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران:۱۱۵۱– ۱۱۵۷.

بخشنده سوادرودباری، مریم، مروی مهاجر، محمدرضا،. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات پوشش علفی جنگل بعد از آتش‌سوزی، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی در عرصه‌های منابع طبیعی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ٤ و ٥ آبان ۱۳۹۰: ۲۷۲ ص.

حسن‌زاده کیابی، بهرام.، زهزاد، بهرام.، فرهنگ دره شوری، بیژن.، مجنونیان، هنریک.، گشتاسب میگو ئی، حمید.،۱۳۷۲. پارک ملی گلستان.، انتشارات سازمان محیط زیست، چاپ اول: ۲۰۳ صفحه.

حسینعلی، فرهاد.، رجبی، محمدعلی.، ۱۳۸٤. شبیه سازی آتش‌سوزی جنگل با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی، همایش ژئومانیک ۸٤، ۱۸ اردیبهشت ۸٤: ۱۱ ص.

جزیره‌ای، محمدحسین،. ۱۳۹۰. نگهداشت جنگل، انتشار دانشگاه تهران:۲۳۱ ص.

رهبر، داود،. ۱۳۷۹. اثرات زیست محیطی صنعت گردشگری، توسعه مدیریت شماره ۱۹: ٤ ص.

شکری، مریم،. صفائیان، نصرت، الله،. اترک‌چالی، عبدالناصر،. ۱۳۸۱. بررسی پیامد آتش بر پوشش گیاهی تختی ییلاق پارک ملی گلستان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۵ شماره ۲: ۲۸۱–۲۷۳.

عزیزی، قاسم.، یوسفی، یدالله.،۱۳۸٤. گرمباد (بادفون) و آتش‌سوزی جنگل در استان‌های مازندران و گیلان، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی ۹۲(۷٤۹): ۱٥٤۳٤– ۱٥٤۰۷.

محمدی، فریده.، شعبانیان، نقی.، پور هاشمی، مهدی.، فاتحی، پرویز.، ۱۳۸۸. تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آتش‌سوزی با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه، فصلنامه‌ی علمی ـ پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸ (٤):٥٦٩-٥٨٦.

مجنونیان هنریک.، زهزاد، بهرام.، کیابی، بهرام.، فرهنگ دره‌شوری، بهزاد.، گشتاسب میگوئی، حمید.، ۱۳۷۸. شناسنامه پارک ملی گلستان ذخیره‌گاه زیست کره، انتشارات سازمان محیط زیست، ۱۲۹ ص.

Akbari, D., Amini J,. SadatSeresht, M., 2007. Providing a simple model and quick for fire risk mapping in forested areas, Proceedings of the Second Conference on Natural Disaster Confronting, Tehran University, Tehran, 1151-1157.

Aldrich, J., and Forrest, D., 1984. Linear Probability, Logit and Probit Models. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences 45. London: Sage.

Alexandridis, A., Vakalis, D., Siettos, C.I. and Bafas, G. V., 2008. A cellular automata model for forest fire spread prediction: The case of the wildfire that swept through Spetses Island in 1990. Applied Mathematics and Computation 204,191–201.

Amatulli Perez-Cabello, D., 2007. Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. Ecological Modelling 200, 321–333.

AtrakChaly, A., 2000. Investigate the effects of fire on vegetation change. MA thesis, University of Mazandaran, 85 pp.

Azizi, Gh., Yusefi, Y., 2005. Sirocco (wind-Von) and forest fires in the Mazandaran and Gilan province, Journal of Geographical Research 92 (749): 15407-15434.

BakhshandeSavadRudbari, M,. MarviMohajer, MR., 2011. Changes in herbaceous cover after forest fires, Proceedings of the First International Conference on the areas of natural resources at the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 26-27 October, 2011: 272 p.

Bakirci, M,. 2010. Negative Impacts of Forest Fires on Ecological Balance and Environmental. Revija za geografijo - Journal for Geography, 5-1:15-32.

Balzter, H., Gerard, F., George, Ch., Rowland, C., Jupp, T., McCallum, I., Shivdenko, A., Nilsson, S., Sukhinin, A., Ounchin, A., Schmullius, Ch., 2005. Impact of the Arctic Oscillation pattern on interannual forest fire variability in Central Siberia, Geophysica Research Letters, vol. 32:4p.

Brooks, M.L., Matchett, J.R., 2006. Spatial and temporal patterns of wildfires in the Mojave Desert, 1980–2004. Journal of Arid Environments 67, 148–164.

Cantarello, E., Newton A., Hill R., Tejedor –Garavito, N.,Williams-linera, G., Lopez-Barrera, F,. H.manson R., J.Golicher, D., 2011. Simulating the potential for ecological restoration of dryland forests in Mexico under different disturbance regimes, Ecological Modelling 222, 1112–1128.

Chuvieco, E., Cocero D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., Riva, j., Perez, F., 2004. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live, fuel

moisture content in forest fire danger rating, Remote Sensing of Environment 92:322–331.

Clark, W.A., Hosking, P.L., 1986. Statistical Methods for Geographers, John Wiley and Sons, New York, 528pp.

Dong, X.U., Li-min, D., Guo-fan, Sh., Lei, T., Hui, W., 2005. Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. Journal of Forestry Research 16(3), 169-174.

Erten, E., Kurgun, V. ve Musaoglu, N., 2004. Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS: A Case Study, XX.th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), July, Istanbul, Turkey,Proceedings,12-25.

FAO. 1995. International forest fire news. No 16.

Franklin, J., McCullough, P., Gray, C., 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In 'Terrain Analysis: Principles and Applications: pp. 331–353.

Fu, Z.Q., Wang, Y., Wang, C., 2001. Research on the spring fire-risk forecasting model in dry grasslands in Inner Mongolia. Quarterly Journal of Applied Meteorology 12, 202–209.

Gil Pontius, R., Schneider, L., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA, Agriculture, Ecosystems and Environment 85:239–248.

HassanZadehKiyabi, B., Zahzad, B., FarhangDareShuri, B., Majnuniyan, H., GashtasbMigui, H., 1993. Golestan National Park, environmental organizations Publications, First Edition, 203p.

HosseinALi, F., Rajabi, M., 2005. Forest fire simulation using GIS, Geomatic Conference 84, 8 may 2005: 11 p.

Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju K.D., Saxena R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4 (1), 1-10.

Jazirei, MH., 2011. Forest Conservation, Tehran University Press: 231 p.

Jobson, J.D,. 1992. Applied multivariate data analysis, Volumn II: Categorical and multivariate methods. New York: Springer-Verlag.

Keeley, JE., Fotheringham, CJ., 2003. Impact of past, present, and future fire regimes on North American Mediterranean shrublands. In 'Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas, Springer-Verlag: NewYork: pp. 218–262.

Lee, S., Pradhan, B,. 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. Journal of Earth System Science 115 (6), 661-672.

Lozano, F. J., Suárez-seoane, S., Luis, E. D., 2007. Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modelling. Remote Sensing of Environment 107, 533 - 544.

Majnuniyan, H., Zahzad, B., Kiyabi, B., Farhangdareshuri, B., GashtasbMiguiei, H., 1999. Certificate National Park Biosphere Reserve, Environment Publications, 129 p.

Marozas, v., Racinskas, J,. Bartkevicius, E,. 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal Pinus sylvestris forests, Forest Ecology and Management, Volume 250, Issues 1–2, 15 October 2007: 47-55.

Mohamadi, FM., Shabaniyan, N., Purhashemi, M., Fatehi, P., 2009. Risk fire Mapping using GIS and AHP in part of the Pave forest Journal of Forest and Poplar Iran 18 (4),569-586.

Nieto, H., Aguado, I., García, M., & Chuvieco, E., 2012. Lightning-caused fires in Central Spain: Development of a probability model of occurrence for two Spanish regions, Agricultural and Forest Meteorology 162-163, 35-43.

Pewb, K.L., Larsen, C.P.S., 2001. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. Forest Ecology and Management 140, 1–18.

Rhbar, D., 2000. Environmental impacts tourism industry, management development 19: 4 p.

Rossiter, D.G., Loza, A., 2010. Analyzing land cover change with logistic regression in R, Technical Report ITC, Enschede, 71 pp.

Rundel PW, King JA,. 2001. Ecosystem processes and dynamics in the urban/ wildland interface of Southern California. Journal of Mediterranean Ecology 2, 209–219.

Shokri, M., Safaeian, N., Atrak Chaly, AA., 2002. Evaluate the impact of fire on vegetation countryside in the Takhti yelaghe Golestan National Park, Iranian Journal of Natural Resources 55(2), 273-281.

Silvia Merino-de-Miguela Huescab, M., González-Alonsob, F., 2010. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. Ecological Modelling 221, 67-74.

Stephens, S., Finney, M,. 2002. Prescribed fire mortality of Sierra Nevada mixed conifer tree species: effects of crown damage and forest floor combustion, Forest Ecology and Management 162, 261–271.

Stephens, SL., 2005. Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. International Journal of Wildland Fire 14, 213–222.

Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240, 1285–1293.

Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keuler ,N.S., Taylor R.S., Hawbaker, T.J., Stewart S.I., Clayton, M.K., 2008. Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape. International Journal of Wildland Fire 17 (5), 602–613.

Tanskanen, H., Venäläinen, A., Puttonen, P., Granström A., 2005. Impact of stand structure on surface fire ignition potential in Picea abies and Pinus sylvestris forests in southern Finland. Canadian Journal of Forest Research 35, 410–420.

Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., Smakhtin, V. U., 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, Research Report 85, International water management Institute.35p.

USDA, USDI., 2001. Urban–wildand interface communities within vicinity of Federal lands that are at high risk from wildfire. Federal Register 66, 751–777.

Vakalis, D., Sarimveis, H., Kiranoudis, C., Alexandridis, A., Bafas, G., 2007. AGIS based operational system for wildland fire crisis management, mathematical modeling and simulation Applied Mathematical Modeling 28(4),389 – 410.

Whelan Robert, J., 1995. The ecology of fire. Cambridge University Press, New York, NY, 346 pp.

Zhang, Z. X., Zhang, H. Y., & Zhou, D. W,. 2010. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. Journal of Arid Environments 74(3), 386-393.